

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ
УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ
ВИДАХ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ**

Колобов Ю.Р.^{1,2}, Манохин С.С.¹, Токмачева - Колобова А.Ю.^{1,3}, Кущенко Я.В.⁴

¹*Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка, Россия*

²*Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Белгород, Россия*

³*Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»,
Москва, Россия*

⁴*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова Москва, Россия
kolobov@bsu.edu.ru*

В докладе проведен обзор результатов исследований модификации структурно-фазовых состояний, механических и других свойств металлических материалов, в том числе полученных аддитивными технологиями, а также с использованием самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в сочетании с литьем под давлением (метод СВС-металлургии). Рассмотрены особенности изменения свойств и структуры металлических материалов при интенсивных внешних воздействиях, в том числе в условиях обработки давлением с реализацией большой (интенсивной) и мегапластической деформации, а также при взрывном нагружении и облучении ультракороткими лазерными импульсами.

Приводится информация об обнаруженном на примере экспериментальных цилиндрических образцов, вырезанных из длинномерных прутков субмикроструктурного технически чистого титана (сплав ВТ1-0), выпускаемых Малым инновационным предприятием «Металл-деформ» при НИУ «БелГУ» (г. Белгород) и обладающих (наряду с сопоставимой с легированными титановыми сплавами прочностью) повышенной пластичностью, неизвестном ранее эффекте автоволнового распространения полос локализованной большой пластической деформации при кручении (в условиях квазистатического нагружения) с реализацией в приповерхностных слоях цилиндрических образцов процессов деформации со скоростями 10^2 - 10^3 с⁻¹, что соответствует динамическому нагружению (!).

Рассмотрено аномальное поведение прочностных характеристик субмикроструктурных материалов (на примере СМК – никеля) в области высоких скоростей нагружения, проявляющееся в существенно более низком сопротивлении пластической деформации по сравнению с соответствующим для крупнозернистых материалов. Показано, что ударно-волновое нагружение (пиковое давление до 40 ГПа) приводит к существенному измельчению зерна в крупнозернистых материалах (порядка 70 мкм) и практически не меняющемуся размеру зерен при исходном зерне порядка 200нм.

Особое внимание уделено уникальным возможностям поверхностного воздействия фемтосекундным лазерным облучением, позволяющим проводить обработку внешней поверхности без существенного разогрева обрабатываемых материалов или изделий, что очень важно для наноструктурированных и субмикроструктурных металлов и сплавов, обладающих пониженной термической стабильностью.

Приведены данные комплексного исследования влияния структуры и фазового состава на механические свойства жаропрочных сплавов системы Ni-Cr-W, полученных обычными металлургическими методами, а также с использованием самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в сочетании с литьем под давлением (метод СВС-металлургии). Установлено, что полученный методами СВС-

металлургии сплав-аналог с последующей механико-термической обработкой характеризуется улучшенными механическими свойствами, в том числе повышенной жаропрочностью.

Результаты исследования закономерностей формирования и термической стабильности структуры и механических свойств жаропрочных сплавов систем Ni-Cr(X) и Fe-Cr(X), полученных с использованием аддитивных технологий (АТ) (методом прямого лазерного выращивания, селективного лазерного плавления), в сравнении со сплавами-аналогами, полученными по обычной металлургической технологии. Исследованы структура, фазовый состав и механические свойства жаропрочных сплавов систем Ni-Cr(X) и Fe-Cr(X), полученных методом прямого лазерного выращивания и селективного лазерного плавления. Установлено, что в сплавах, полученных методом прямого лазерного выращивания, формируется ячеистая структура и образуются мелкие поры размером до 200 нм, в отличие от сплавов, полученных селективным лазерным плавлением, где образуется неоднородная структура с глобулярной и пластинчатой морфологией с крупными порами размером порядка 5 мкм и областями частичного спекания. Выявлена возможность реализации эффекта нанофазного упрочнения за счет присутствия в материале наноразмерных частиц силицидов хрома.

Показано, что механические свойства исследуемых материалов, полученных различными методами аддитивных технологий, сопоставимы с традиционно выпускаемыми аналогами российских и зарубежных сплавов при комнатной температуре и сильно проигрывают традиционным при испытаниях при повышенных температурах. Проведение дополнительного отжига (1 час при температуре 1000 °С) сплавов на основе системы Ni-Cr(X) не приводит к снижению его прочностных характеристик при испытаниях на растяжение при комнатной температуре.

На примере поверхностно - модифицированных титана и его сплавов демонстрируется использование СМК материалов для изготовления медицинских имплантатов для травматологии и деталей конструкций протезов крупных суставов.

Работа подготовлена при поддержке программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 32 «Наноструктуры: физика, химия, биология, основы технологий» и тематической карты фундаментальных научных исследований РАН № 0089-2015-0222.